

УДК 543.5

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ НА УРАЛЕ

В.Т.Суриков, В.Н.Музгин*

Институт химии твердого тела УрО РАН,
620219, Екатеринбург, Первомайская, 91
surikov@ihim.uran.ru;

*ГОУ УГТУ-УПИ, 620002, Екатеринбург, Мира, 19

Поступила в редакцию 10 ноября 2004 г.

В предлагаемом обзоре, составленном по опубликованным данным и частным сообщениям уральских специалистов (1996-2004 г.г.), рассмотрены оснащенность Уральского региона ИСП-МС спектрометрами, их применение для научных и практических целей, активность пользователей этих приборов.

Суриков Владимир Трофимович – старший научный сотрудник лаборатории физико-химических методов анализа Института химии твердого тела УрО РАН.

Область научных интересов: элементный и изотопный анализ, аналитическое приборостроение.

Автор 140 научных публикаций и 4 изобретений.

Музгин Владимир Николаевич – профессор, доктор химических наук, заведующий кафедрой физико-химических методов анализа на физико-техническом факультете УГТУ-УПИ.

Область научных интересов – аналитическая химия, спектральные методы анализа.

Автор более 340 научных публикаций, монографии, 22 изобретений.

Спектрометры

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) появилась на Урале в связи с приобретением НПО «Маяк» (г. Озерск) в 1992 г. и Уральским электрохимическим комбинатом (г. Новоуральск) в 1993 г. [1] первых спектрометров VG PlasmaQuad (VG Elemental) и SOLA (Finnigan MAT), соответственно. Сегодня количество ИСП-МС спектрометров в уральском регионе, сосредоточенных в четырнадцати важнейших промышленных, научных и образовательных центрах, достигло 23 (см. таблицу).

Пять приборов из этой таблицы расположены на Южном Урале (Озерск, Снежинск, Челябинск и Уфа). Остальные 18 находятся в Свердловской области. Производителем большинства из них (56,5 %) является Perkin-Elmer-SCIEX. На втором месте аппараты корпорации Thermo Electron (34,8 %) с подразделениями Thermo Elemental (панель VG Elemental и Thermo Jarrell Ash Solutions) и Thermo Finnigan. Остальные два приобретены у Spectro Analytical Instruments и Hewlett-Packard (теперь Agilent Technology). Почти все перечисленные спектрометры – квадрупольные. Только два спектрометра (ELEMENT-2 и AXIOM) имеют маг-

¹Работа доложена на VII конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока-2004» (Новосибирск, 11-15 октября 2004 г.).

нитосекторные анализаторы с увеличенным спектральным разрешением. Часть новых квадрупольных спектрометров снабжена ячейками

газового реакционного (DRC) или коллизионного (CCT) воздействия на экстрагируемые ионы, устраняющего главные спектральные наложения.

Таблица

Оснащенность Уральского региона масс-спектрометрами с индуктивно связанной плазмой

Владелец	Прибор	Производитель	Количество, год приобретения
Озерск, Маяк	VG PlasmaQuad	VG Elemental	1, 1992
Новоуральск, УЭХК	SOLA	Finnigan MAT	1, 1993
	ELAN 6000	Perkin Elmer	3, 1995-1997
	ELAN DRCII	Perkin Elmer	1, 2003
	ELEMENT-2	Thermo Finnigan	1, 1997
	VG PQExCell	Thermo Elemental	1, 2000
	VG X7	Thermo Elemental	1, 2003
	AXIOM	Thermo Elemental	1, 2000
Екатеринбург, УГТУ-УПИ	ELAN 5000	Perkin Elmer	1, 1995
Екатеринбург, ОАО «ЕЗОЦМ»	ELAN 6000	Perkin Elmer	1, 1996
	ELAN DRC E	Perkin Elmer	1, 2003
Лесной, ЭХП	ELAN 6000	Perkin Elmer	1, 1997
Снежинск, ВНИИТФ	ELAN 6000	Perkin Elmer	1, 1997
Екатеринбург, ИХТТ УрО РАН	Spectromass 2000	Spectro Analytical Instruments	1, 1998
Екатеринбург, ОблСЭС	HP 4500	Hewlett-Packard	1, 1999
Кировград, КЗТС	VG PQExCell	Thermo Elemental	1, 2000
Трехгорный, ПСЗ	VG PQExCell	Thermo Elemental	1, 2000
Екатеринбург, УВД	ELAN 9000	Perkin Elmer	1, 2004
Екатеринбург, ИГТ УрО РАН	ELAN 9000	Perkin Elmer	1, 2004
Уфа, Водоканал	ELAN 9000	Perkin Elmer	1, 2004
Челябинск, Мечел	ELAN 9000	Perkin Elmer	1, 2004

Расшифровка аббревиатур:

УЭХК – Уральский электрохимический комбинат,
 УГТУ-УПИ – Уральский государственный технический университет,
 ЕЗОЦМ – Екатеринбургский завод обработки цветных металлов,
 ИХТТ – Институт химии твердого тела,
 ИГТ – Институт геологии и геохимии,
 УрО РАН – Уральское отделение Российской Академии наук,
 УВД – Управление внутренних дел,
 ЭХП – Электрохимприбор,
 КЗТС – Кировградский завод твердых сплавов,
 ВНИИТФ – Всеросс. научно-исслед. институт технической физики,
 ПСЗ – Приборостроительный завод.

Пользовательская активность

Перечисленных в таблице приборов пока недостаточно для удовлетворения всех растущих потребностей уральского региона, поэтому владельцам спектрометров приходится обслуживать и сторонних заказчиков. В этой связи возникают центры коллективного пользования, например, в УрО РАН.

Растущее с 1996 г. (см. рисунок) количество публикаций в отечественной и зарубежной печати уральских пользователей этих приборов посвя-

щено популяризации возможностей, оценке состояния и применению нового эффективного метода и оборудования для научных исследований и анализа широкого круга объектов. Приведенный график достаточно объективно отражает прогресс в развитии и применении ИСП-МС на Урале. Причем это связано не только с наблюдаемым увеличением в регионе количества дорогостоящих спектрометров. Одновременно происходило выполнение ряда важных фундаментальных исследований в разных отраслях знания,

посвященных как проблемам самого метода, так и другим, решаемым благодаря применению ИСП-МС. Много внимания уделено и прикладным исследованиям (разработка методик), направленным на расширение области применения метода по элементному и изотопному анализу. Полезным компонентом прогресса явилось привлечение к исследованиям в области ИСП-МС студентов и аспирантов аналитической специализации на физико-техническом факультете УГТУ-УПИ, а также распространение на Всероссийских и региональных аналитических и других конференциях сведений о достоинствах, возможностях и особенностях обсуждаемого метода [2-16]. Хорошим индикатором и в некоторой степени, стимулом участия местных аналитиков в развитии ИСП-МС является Уральская конференция по спектроскопии, проводимая Уральским отделением научного совета РАН по аналитической химии совместно с УГТУ-УПИ и журналом "Аналитика и контроль" с периодичностью раз в два года. В частности, этим можно объяснить заметное увеличение числа публикаций в годы проведения конференций (1999, 2001 и 2003 г.г.). С малой долей сомнений можно прогнозировать и дальнейшее сохранение этой особенности.

Характеристика метода более подробно раскрыта в ряде обзоров и статей местных авторов [16-27]. Рассмотрены общие вопросы [17, 18], развитие инструментальной базы метода [16, 19, 20], особенности устройства и эксплуатации некоторых спектрометров и анализаторов (Renaissance, Spectromass 2000, ELAN 250) [21-23], спектральные помехи [24, 25], а также специальные применения метода: «холодная» плазма [26], определение отрицательных ионов плазмы [27] и коллоидных форм элементов в жидкостях [28, 29]. Прослежена история создания и начального развития инструментария ИСП-МС [13, 30].

Фундаментальные исследования

Очень продуктивным оказалось применение равновесной термодинамики для фундаментальных исследований свойств индуктивно связанной плазмы масс-спектрометров [31-76], ставшее возможным благодаря разработке подходящей квазиравновесной многокомпонентной модели термохимических процессов в плазме. Эта модель основана на допущении возможности реализации локального термодинамического равновесия в центральном (аналитическом) канале плазменного разряда при соблюдении ряда условий [31-44].

Соответствующее термодинамическое моделирование конкретных условий и процессов в

плазме обеспечило получение интересных и разнообразных научных результатов. Вычислена эффективность образования одно и двукратно заряженных положительных ионов 84 химических элементов, а также электронная плотность в аргоновой плазме в диапазоне температур 4000-10000 К с шагом 500 К [37-44]. Рассмотрены условия образования этих ионов в плазме и их движения через критические компоненты спектрометров при различном химическом составе плазмы [39-42]. Особое внимание уделено образованию мешающих двухзарядных одноатомных ионов [45-50]. Установлен набор элементов, для которых образование таких ионов наиболее вероятно. Аналогичная работа проделана по создающим спектральные наложения оксидным и гидроксидным ионам [51-54]. Рассчитаны недостающие суммы по состояниям атомов, одно и двукратно заряженных одноатомных ионов в диапазоне температур 2500-12000 К, восполняющие пробелы имеющихся баз термодинамических данных [43, 55-58].

Предложена возможность повышения точности полуколичественного определения содержания элементов за счет применения комплектов новых термодинамических данных, вычисленных авторами. Эти новые данные появились благодаря уточнению используемых в известных программных моделях значений эффективности образования аналитических и мешающих ионов, коэффициентов относительной чувствительности, а также одновременному учету не только спектрального, но и ионизационного влияния матриц проб [42-44, 59-63]. Показано, что матричные ионизационные влияния приводят не только к изменению величины аналитических сигналов и концентрации электронов в плазме, но и к изменению траекторий ионов-аналитов после скиммера. Установлены факторы, определяющие степень матричных влияний в обычной и «холодной» плазме [42, 44, 64-66]. Предложено выражение, описывающее зависимость чувствительности спектрометров от масс регистрируемых ионов с учетом их дискриминации [38, 42, 67].

Рассмотрена возможность аналитического применения отрицательных одноатомных ионов, показана возможность образования таких ионов для аргона и даже натрия (при его высокой концентрации в плазме) [38, 68-71]. Найдено термодинамическое подтверждение гипотезы о том, что отрицательные ионы возникают не в исходной плазме, а в ее экстрагированной расширяющейся струе после прохождения интерфейса [71]. Вероятно этому способствует сохранение суще-

ственной доли электронов в анализируемой струе заряженных частиц в режиме регистрации отрицательных ионов, отличающемся положительным знаком полярности потенциалов ионных линз и детектора, а также уменьшение внутренних потерь отрицательных ионов в спектрометре благодаря ослаблению роли пространственного заряда за скиммером.

На основании всей совокупности исследований даны практические рекомендации по повышению эффективности ионообразования, выбору внутреннего стандарта, учету матричных влияний, применению термодинамического моделирования, выбору модификаторов при электротермическом испарении образцов в источник ионов [72] и т.д. Полученные расчетные результаты многократно подтверждены литературными и собственными [77,78] экспериментальными данными. Показано преимущество отечественного программного комплекса ASTRA с банком термодинамических данных ИВТАНТЕРМО, использованного в обсуждаемой работе, по сравнению с рядом зарубежных аналогов [71]. Часть этой работы была поддержана грантом № 95-0-9.5-164 Конкурсного центра фундаментального естествознания при Санкт-Петербургском государственном университете.

Начато подобное термодинамическое исследование гелиевой индуктивно связанной плазмы, получены новые результаты [73-76].

Прочие фундаментальные исследования, поддержанные Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ), включают применение ИСП-МС в качестве важной составной части.

В их числе исследование явления коллоидно-химической экстракции микрокомпонентов из водных растворов с разработкой методов сорбционного концентрирования следовых коллоидов, поддержанное грантом РФФИ № 01-03-33177. В качестве экстрагентов использовали, в частности, воск и парафин. Исследовали роль коллектора, анионного состава, pH и т.д. Водную фазу систем до и после экспериментов анализировали методом ИСП-МС. Показана возможность определения доли и формы коллоидного состояния в природных водах, рассмотрен механизм экстракции. Предложены области практического применения полученных результатов, опубликованных в [79-91].

ИСП-МС использовали для изучения сорбционной эффективности и селективности новых сорбентов в рамках проекта по синтезу и управлению реакционной способностью наноразмерных гидроксидных сорбентов (грант РФФИ № 01-

03-32490) [92-94], а также для контроля состава ферроцианидов в рамках проекта, посвященного новому классу гексагональных цианоферратов р- и d-элементов (грант РФФИ № 98-03-32543) [95].

При изучении состояния водорода и фазовых переходов в гидридах переходных металлов (грант РФФИ № 02-03-32979) примесную чистоту гидридов титана, циркония и гафния (TiH_2 , ZrH_2 и HfH_2) устанавливали с помощью ИСП-МС [96-98].

Применение ИСП-МС позволило исследовать влияние изотопного состава (^6Li и ^7Li) литиевых носителей на ионный транспорт в твердых электролитах разного состава (Li_2ZrO_3 , Li_7N_4 , Li_3AlN_2 , Li_5SiN_3 , Li_6MoN_4 , Li_6WN_4 , Li_6MoO_4 , Li_6WO_4 , LiAlO_2 , LiGaO_2 , $\text{La}_{2/3-x}\text{Li}_{1/3+x}\text{TiO}_3$) при различных условиях (грант РФФИ № 03-03-32771). Рассмотрены условия оптимизации многолинзовой ионной оптики при выполнении измерений изотопного отношения лития [99,100]. Подобраны условия растворения образцов. Самые стойкие из них (например, LiAlO_2 , $\text{La}_{2/3-x}\text{Li}_{1/3+x}\text{TiO}_3$) растворяли в конденсированной фосфорной кислоте после тонкодисперсного измельчения [101,102]. Концентрация образцов в растворах для изотопного анализа составляла ~ 1 мг/л, а при определении примесного состава лития и его вышеуказанных соединений – 100 мг/л [103]. Полученные сведения о транспортных свойствах твердых электролитов, числах переноса и механизме проводимости опубликованы в [104-113]. ИСП-МС оказался также полезен при разработке и исследовании электродных материалов (алюминаты и скандиаты лития) для карбонатных топливных элементов [114].

Инициативное исследование по изучению магнитных структур, свойств и внутренних взаимодействий в механосинтезированных порошковых наноразмерных сплавах железа с бором различного состава ($\alpha\text{-FeB}$, Fe_2B , $\text{Fe}_{3.5}\text{B}$, $\text{Fe}_{2.3}\text{B}_6$ и др.), а также условий их синтеза было эффективно поддержано методом ИСП-МС в части определения состава и содержания примесных и главных элементов в исходных материалах и конечных продуктах. Условия анализа и результаты исследований сплавов опубликованы в [115-122].

Следующее инициативное фундаментальное исследование относится к области ландшафтной биогеохимии. При изучении естественного фитогенного массообмена (миграция элементов в цепи растительность–атмосфера) ИСП-МС использовали для определения элементного состава дождевых и снеговых осадков, речных вод, жидких транспирационных и гуттационных выделений листьев, хвои и трав, эвапорационных выделений почвы. Рассматривали корреляции полученных

составов названных объектов с учетом региональных условий Урала: геохимических, высотных, рельефных и погодных. Идеология работы, способы отбора образцов, методические подробности и полученные результаты освещены в [123-131].

Медицина и экология

В области медицины ИСП-МС использовали для доклинических испытаний новых химических материалов и препаратов. Создание нового эффективного рентгеноконтрастного вещества (ортотанталат лантана) потребовало испытаний его безвредности по отношению к пациентам и характера распространения по внутренним органам (фармакокинетики). С этой целью было выполнено предварительное испытание препарата на крысах. С помощью ИСП-МС показано, что пероральное поступление LaTaO_4 в организм крыс не вызывает его появления в остальных внутренних органах и жидкостях. Вещество практически полностью выходило из организма с фекалиями [132, 133]. Другое медицинское применение связано с предварительной аттестацией нового биоактивного вещества на содержание примесных, в том числе токсичных элементов. Объектом анализа был синтетический гидроксипатит кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ – потенциальный костнозамещающий твердый или гелеобразный имплантант для хирургии, стоматологии и остеологии [134].

Большая работа экологической и утилитарной направленности проделана в рамках проектов международного научно-технического центра МНТЦ: «Оценка приоритетов по предотвращению загрязнения окружающей среды г.Карабаш» (№ 500-98) и «Разработка программы по развитию и реабилитации г.Карабаш за счет использования комплекса технологий по переработке техногенных ресурсов города» (№ 1872). С помощью ИСП-МС анализировали состав различных показательных объектов района г. Карабаш. Среди них техногенные отходы (шлаки, отвалы), природные объекты (снег, воды, растения, корма, почвы), биологические пробы (кровь, молоко, моча, внутренние органы, шерсть животных, человеческие волосы). Установлены корреляции составов природных и техногенных объектов, выявлены недостатки действующих промышленных технологий, выработаны предложения по их совершенствованию и переработке накопленных отходов. Получена обширная информация, изложенная в цикле публикаций [135-149].

Востребованность ИСП-МС проявилась также в сфере защиты человека от техногенного воздей-

ствия вблизи предприятий атомной промышленности [1, 150-159]. При этом контролировали содержание большой группы элементов (особенно токсичных и радиоактивных) в окружающем воздухе (в том числе на выходе из вентиляции), снеге, питьевых, природных и очищенных сточных водах, воде и донных отложениях прилегающего озера, почве, растениях и биологических пробах. В этих объектах одновременно проверяли устойчивость естественного изотопного состава фоновых примесей урана, позволяющую оценивать техногенное влияние соседнего производства. Низкое содержание урана требовало его концентрирования даже при использовании столь высокочувствительного спектрометра, как ELEMENT-2. Самым эффективным коллектором урана оказался волокнистый комплексообразующий сорбент, разработанный в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского.

К экологическим применениям метода можно добавить контроль содержания бора в речных водах, йода в различных пищевых продуктах и калия в почвах [160-162]. В связи с необходимостью утилизации больших неиспользуемых запасов монацита, складированных вблизи г.Красноуфимска и создающих социально-экологическую напряженность среди местного населения, разработана ИСП-МС методика экспресс-анализа элементного состава монацита (растворяемого в конденсированной фосфорной кислоте) [163]. Показана высокая экологичность этой методики, обусловленная низким расходом образцов и минимальным количеством жидких и вентиляционных отходов.

Атомная промышленность

Среди промышленных применений ИСП-МС на Урале львиная доля приходится на атомную индустрию, поставляющую свою продукцию на внешний и внутренний рынок [1, 164-186]. Контроль качества продукции, технологических процессов, экологических объектов, научные исследования – такова сфера применения метода в этой отрасли. Много внимания уделено определению примесей в растворенных урановых материалах (уран, гексафторид урана, тетрафторид урана, закись-окись урана) с помощью спектрометра ELAN 6000. В зависимости от технологических или аттестационных требований использовали как прямое определение примесей из растворов с содержанием урана до 1 г/л [1, 164-166], так и с предварительным отделением урановой основы [1, 166, 167]. Высокое содержание урана в растворах приводило при прямом анализе к на-

коплению матричных солевых и прочих остатков в распылительной системе, интерфейсе и ионной оптике спектрометров, что вызывало дрейф аналитических сигналов и ухудшение чувствительности, а также сокращение срока службы загрязняемых деталей. Установлено значительное депрессирующее влияние урана при его содержании более 10 мг/л, а также азотной (в большей степени) и фтороводородной кислот при их содержании более 1-3 объемных % на интенсивность спектра аналитов. Для исключения этих проблем разработали и использовали методики с отделением урана из растворов с 5N содержанием азотной кислоты методами экстракционной хроматографии и периодической экстракции с использованием трибутилфосфата. Замечено при этом, что остаточное присутствие трибутилфосфата в растворах при содержании более 2 объемных % увеличивало интенсивность спектра аналитов за счет снижения поверхностного натяжения анализируемых растворов. Для снижения спектральных наложений аргон-содержащих ионов, мешающих определению примесей K, Ca и Fe с помощью обычного квадрупольного анализатора, использована «холодная» плазма [168].

Уделено внимание определению ^{99}Tc и ^{237}Np в закиси-окиси и гексафториде урана с помощью спектрометра VG PQExCell с предварительным экстракционным концентрированием аналитов. В первом случае (^{99}Tc) использовали отделение аналита метилэтилкетонном из карбонатной среды [1, 169], а во втором (^{237}Np) – раствором теноилтрифторацетона в ксилоле из азотнокислой среды [1, 170]. Прямое определение ^{99}Tc из растворов с содержанием матрицы вплоть до 2 г/л обеспечивает предел обнаружения только 0,1 нг/г урана [171], что почти на порядок хуже предыдущего случая.

Отмечены достоинства спектрометра VG PQExCell: высокие чувствительность и стабильность сигналов. Применение этого прибора даже при прямом анализе урановых материалов из растворов с содержанием матрицы 1 г/л обеспечивало пределы обнаружения примесей РЗЭ и тория, превосходящие требования американского стандарта ASTM C 1287. При этом суммарная погрешность определения аналитов не превышала 10 % [172].

Исследованы особенности определения бора в гексафториде урана и высокочистом графите, используемом в атомной промышленности и для производства стандартных образцов. В первом случае использовали прямой анализ урансодержащих (1 г/л) растворов с добавкой бериллия в

качестве внутреннего стандарта [1]. Это позволило при соизмеримых пределах обнаружения значительно ускорить выполнение анализов по сравнению с традиционным методом фракционной дистилляции. Для повышения чувствительности на порядок бор перед введением в источник ионов в процессе анализа переводили в летучее состояние. При этом более эффективным способом выделения бора из образцов оказалось его электро-термическое испарение с помощью графитовой печи, нежели низкотемпературное испарение эфиров бора, получаемых в растворах действием этилового или метилового спиртов [173]. Во втором случае графит предварительно растворяли в микроволновой печи [174]. При этом для уменьшения эффекта памяти бора распылительную систему промывали вспомогательным раствором, содержащим маннит. Кроме бора определяли и прочие примеси с целью определения пригодности графита для изготовления стандартных образцов на его основе [175].

С целью совершенствования метрологического обеспечения отрасли, благодаря наличию и использованию современных ИСП-МС спектрометров, были созданы два комплекта стандартных образцов состава закиси-окиси урана, аттестованных на содержание примесей в диапазоне 10^{-5} – 10^{-7} %, предназначенные для растворения или альтернативного метода фракционной дистилляции, а также государственный стандартный образец аналогичного состава, аттестованный на содержание урана. Описана технология изготовления и испытаний этих образцов [176, 177]. Налажено также производство и аттестация государственных стандартных образцов состава специального и общего назначения в виде растворов индивидуальных ионов РЗЭ, Th и U [178], а также Zr, Nb, Ta, Re и Ru [179]. Изучены роль материалов, используемых для изготовления тары стандартных растворов, и условий их хранения [180].

Разработана методика аттестационного определения изотопного состава природного и низкообогащенного урана с помощью спектрометра высокого разрешения VG AXIOM с мультиколлекторной регистрацией (детекторы Фарадея) с использованием поправочного множителя, определяемого по вносимой в пробы метке таллия. Проведенное при этом метрологическое исследование доказало высокую точность измерений, удовлетворяющую требованиям стандартов ASTM C996, ASTM C787 и их аналогов [1, 181, 182]. Методика нашла применение, в частности, для определения содержания ^{234}U в урансодержащих рудах разных месторождений [182]. С этой же

целью использовали спектрометр высокого разрешения ELEMENT 2: анализировали образцы подобных руд коллекции геологоминералогического музея ВНИИХТ (Москва) и Далматовского месторождения. Объектом анализа были также растворы подземного выщелачивания руд и получаемые из них концентраты. Получены интересные результаты исследования технологии этого выщелачивания [183].

Изотопный состав урана и его общее содержание в отработанных вакуумных маслах, использованных в технологии разделительного производства урана, а также в технологических растворах определяли с помощью ELAN 6000 [1, 184].

Весьма эффективным оказалось применение ИСП-МС (ELAN 6000) для контроля качества обогащенных стабильных изотопов ряда элементов (Li, Mg, Ca, Ti, Cr, Pd, In, Sb, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Gd, Tl и Pb), тоже поставляемых на внутренний и международный рынок. При этом проверяли и примесную чистоту и изотопный состав выпускаемых продуктов. Применение обсуждаемого метода вместо атомно-эмиссионной спектроскопии для определения примесной чистоты позволило резко сократить расход тестируемых дорогостоящих изотопов, значительно увеличить список определяемых примесных элементов (70 вместо 10-15) и ускорить выполнение анализов. Применение ИСП-МС вместо термоионизационной масс-спектрометрии для определения изотопного состава позволяет расширить список аттестуемых элементов (за счет элементов с высокими потенциалами ионизации), обеспечивает более высокую производительность, уменьшает расход дорогостоящих образцов [159, 185-189].

Производство благородных металлов и сплавов

ИСП-МС постепенно завоевывает важную роль и позицию среди методов контроля производства благородных металлов и сплавов. Разработаны методики определения примесей в платине, как без пробоподготовки (с лазерной абляцией [190]), так и с растворением образцов [191-193]. В последнем случае изучено матричное неспектральное влияние платины, которое экспоненциально подавляло интенсивность спектра аналитов, начиная с 0,05 мг/л Pt. Показано, что внутренний стандарт (La или Xe) ослабляет (в разной степени для разных элементов) матричное влияние даже при 1 г/л Pt. Использование повышенного разрешения квадрупольного ELAN 6000 в 3 раза понижало предел обнаружения золота в платине благодаря уменьшению влияния ^{196}Pt и ^{198}Pt на

^{197}Au . Разработаны методики определения примесей в золоте и серебре, в том числе без традиционных стандартных образцов [194-196]. Применение собственных методик для анализа контрольных проб Лондонской биржи металлов внесло существенный вклад в получение Екатеринбургским заводом ОЦМ статуса Good Delivery при поставке слитков золота и серебра на указанную биржу [194]. Существенен вклад ИСП-МС и в создании комплектов государственных стандартных образцов платины и палладия [197-199]. Метод использован также для определения примесей (от 0,1 г/т) золота и серебра во вторичных сырьевых источниках благородных элементов: клинкерах и свинцовых кеках [200].

Другие применения

Прочие применения ИСП-МС относятся к аналитической химии отдельных элементов и их индивидуальных соединений, а также к анализу металлических или солевых сплавов, сложных соединений [201-215]. Разработаны и опробованы оптимальные методики определения примесей в растворенных элементах и их простых растворимых соединениях (оксиды, нитриды, карбиды, гидриды, соли) с концентрацией образцов в растворах не более 0,1 г/л, позволяющей минимизировать влияние даже тяжелых матриц. В числе таких объектов были литий [103], бор, натрий, алюминий [201, 202], титан [98], ванадий [203], марганец, кобальт, медь [204], галлий [205], селен, стронций, иттрий, цирконий [97], ниобий, кадмий [206], индий, неодим, самарий [207, 208], европий, гадолиний, тербий [209], лютеций, гафний [96], тантал, вольфрам, таллий [210], свинец, висмут и их соединения. Найдены пригодные для ИСП-МС условия эффективного растворения химически стойких объектов анализа, таких как монацит [163], высокочистый алюминий [215], оксиды алюминия [202], кремния, титана [98], церия и вольфрама, алюминат лития и литиевые твердые электролиты [101, 102], ферросплавы, шлаки, красный шлам, горные породы и др.

Более трудным оказалось определение матричных элементов в сплавах и сложных технических и природных соединениях из-за более высоких точностных требований. Объектами анализа были новые ванадиевые соединения (V-Sc-Na-S) [211], поливанадаты и кобальтиаты щелочных металлов, двойные сплавы (Al-P3Э) [212], стеллиты [213], ферробор [115, 116], солевые плавы (Zr-Al-Na-K-Cl) [214], миш-металл, монацит, легированные стали, минералы, шлаки и др.

Наконец, ИСП-МС использовали для изучения

химической стойкости радиопоглощающей (микроволновой) керамики разных составов в неорганических кислотах [216].

Заключение

Опыт распространения и применения ИСП-МС на Урале подтвердил ожидаемые достоинства метода, но выявил и некоторые трудности. В их числе недостаточный срок службы вторично-ионных умножителей, загрязнение интерфейса и ионной оптики, ограничение по концентрации образцов в растворах, спектральные помехи аргона, главных элементов образцов и растворителей, недостаточная приспособленность спектрометров для точного определения содержания главных элементов веществ и материалов, высокая стоимость запчастей и ремонта, эксплуатационные недостатки некоторых приборов, нехватка кое-где квалифицированного персонала.

Дальнейшее развитие метода в регионе может быть связано с применением технологий DRC и

ССТ (благодаря ее появлению в ряде лабораторий), увеличением количества и роли систем лазерной абляции, вспомогательных устройств и систем пробоподготовки, очистки воды, кислот и воздушной атмосферы вокруг спектрометров, разработкой методик анализа новых объектов. Нет сомнения и в расширении области применения метода, в частности, для геологии, геохимии, криминалистики и различных научных исследований.

Авторы выражают благодарность профессору д.х.н. Пупышеву А.А. (УГТУ-УПИ, Екатеринбург), к.х.н. Голику В.М. (УЭХК, Новоуральск), Березиной И.Х. (Представительство Perkin Elmer, Екатеринбург) и Ульяновой Н.В. (Представительство Intertech, Екатеринбург) за предоставление полезной информации.

Составление данного обзора поддержано МНПЦ (проект № 1872) и РФФИ (гранты № 02-03-32979 и № 04-03-32831-а)

ЛИТЕРАТУРА

- Сапрыгин А.В. Методы и аппаратура масс-спектрометрического контроля, используемые на УЭХК / А.В. Сапрыгин, В.М. Голик, В.А. Калашников и др. // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7, № 4. С. 319-324.
- Музгин В.Н. Применение индуктивно-связанной плазмы в качестве источника света и ионов в спектральном анализе / В.Н. Музгин, В.Т. Суриков, Ю.В. Зарянская // Химия тверд. тела и новые материалы. Сб. докл. Всерос. конф. Екатеринбург. 1996. Т.1. С.332.
- Музгин В.Н. Использование масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для анализа объектов окружающей среды / В.Н.Музгин, А.А.Пупышев // «Экоаналитика-96». Тез. Докл. Всерос. конф. по анализу объектов окр. среды. Краснодар. 1996. С.58.
- Музгин В.Н. Спектральные методы анализа – достижения и проблемы // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С.137-138.
- Музгин В.Н. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой – современное состояние и перспективы развития // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С. 106-107.
- Суриков В.Т. Новые приборы для экологического мониторинга / В.Т.Суриков, О.Н.Павлович, В.И.Кобер // Тез. научно-техн. конф. «Экол. пробл. пром. регионов». Екатеринбург. 1999. С.126.
- Суриков В.Т. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой: техническое состояние / В.Т.Суриков, В.Н.Музгин // «Аналитика России». Тез. докл. Всерос. конф. Москва. 2004. С.113.
- Суриков В.Т. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой на Среднем Урале / В.Т.Суриков, В.Н.Музгин // Тез. докл. 7 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». Новосибирск. 2004. Т.1. С.64.
- Музгин В.Н. Современное состояние, тенденции развития и особенности метрологического обеспечения спектральных методов анализа / В.Н.Музгин, А.В.Тетюев // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.3-5.
- Суриков В.Т. Конструктивные и эксплуатационные особенности масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Spectromass 2000 / В.Т. Суриков, К.П. Шмидт, Р. Гирлинг и др. // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С. 322-325.
- Беляев С.Н. Времяпролетная масс-спектрометрия. Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Renaissance, Pegasus-II – газовая хроматография с времяпролетным детектированием // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.220-221.
- Пупышев А.А. Современное состояние методов атомного спектрального анализа / А.А.Пупышев, А.К.Луцак // Аннот. докл. 7 Межд. конф. по произв. и экспл. изделий из сплавов благородных металлов. Екатеринбург. 1999. С.66-67.
- Суриков В.Т. Хронология начального периода ICP-MS, эффективного метода аналитического контроля // Матер. и тез. докл. регион. научн. конф. «Методы аналитического контроля материалов и объектов окружающей среды». Пермь. 2001. С.165.
- Эпова Е.Н. Спектральные помехи полиатомных ионов в методе масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / Е.Н. Эпова, А.А. Пупышев // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.120-121.
- Суриков В.Т. Пользовательские требования к квадрупольному масс-спектрометру с индуктивно-связанной плазмой // Аналитические приборы. Тез. докл. 1 Всерос. конф. Санкт-Петербург: НИИ Химии.

СПТГУ. 2002. С.261-262.

16. Суриков В.Т. Новое в техническом развитии масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Матер. и тез. докл. 3 рег. научн. конф. «Пробл. теор. и эксп. аналит. химии». Пермь. 2004. С.81-85.
17. Музгин В.Н. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой – новый метод в аналитической химии / В.Н.Музгин, Н.Н.Емельянова, А.А.Пупышев // Аналитика и контроль. 1998. № 3-4. С.3-25.
18. Пупышев А.А. Современное состояние методов атомного спектрального анализа / А.А.Пупышев, А.К.Луцак // Аналитика и контроль. 2000. Т.4, №2. С.141-146.
19. Музгин В.Н. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой: состояние и перспективы / В.Н.Музгин, В.Т.Суриков // Вестн. Казах. нац. ун-т. им. Аль-Фараби. Сер. хим. Алматы. 2003. № 3 (31). С.234-238.
20. Пупышев А.А. Обзорная информация о зимней европейской конференции по спектроскопии плазмы "WINTER 99" (январь 1999 г., Франция, г. По) // Аналитика и контроль. 1999. № 2. С.112-116.
21. Трепачев С.А. Времяпролетная масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой / С.А.Трепачев, С.Н.Беляев // Аналитика и контроль. 2000. Т.4, №3. С.252-265.
22. Суриков В.Т. Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Spectromass 2000: особенности и применение / В.Т.Суриков, Е.В.Поляков // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7, № 2. С.128-138.
23. Суриков В.Т. SCIEX ELAN 250: особенности, проблемы и их решение // Аналитика и контроль. 2004. Т. 8, № 3. С.292-309.
24. Пупышев А.А. Спектральные помехи полиатомных ионов в методе масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / А.А.Пупышев, Е.Н.Эпова // Аналитика и контроль. 2001. Т. 5, № 4. С.335-369.
25. Пупышев А.А. Образование двухзарядных атомных ионов в плазме индуктивно связанного разряда. Обзор. // Пробл. спектроск. и спектром. Межвуз. сб. научн. тр. Екатеринбург. 2000. Вып. 4. С.54-61.
26. Луцак А.К. Режим "холодной" плазмы в методе масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (обзор) / А.К.Луцак, А.А.Пупышев // Аналитика и контроль. 1998. № 2(4). С.15-19.
27. Суриков В.Т. Масс-спектрометрия отрицательных ионов индуктивно связанной плазмы / В.Т.Суриков, А.А.Пупышев // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7, № 1. С.3-8.
28. Поляков Е.В. Определение форм состояния микрокомпонентов и радионуклидов в водных растворах. I. Инструментальные методы / Е.В.Поляков, Ю.В.Егоров // Аналитика и контроль. 2001. Т.5, №3. С. 219-239.
29. Поляков Е.В. Современные методы определения физико-химического состояния микроэлементов в природных водах / Е.В. Поляков, Ю.В.Егоров. // Успехи химии. 2003. Т. 72, № 11. С. 1103-1122.
30. Суриков В.Т. Начало истории масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Первые экспериментальные и серийные спектрометры // Аналитика и контроль. 2002. Т.6, № 3. С.323-334.
31. Пупышев А.А. Изучение термохимических процессов в плазме индуктивно связанного разряда методом термодинамического моделирования / А.А.Пупышев, А.К.Луцак, В.Н.Музгин // Деп. в ВИНТИ. 1996. № 224-В96. УГТУ-УПИ. 37 с.
32. Пупышев А.А. Изучение термохимических процессов в плазме индуктивно связанного разряда методом термодинамического моделирования / А.А.Пупышев, А.К.Луцак, В.Н.Музгин // Тез. докл. 5 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». Новосибирск. 1996. С.43-46.
33. Pupyshev A.A. Thermochemical processes simulation in inductively coupled plasma / A.A.Pupyshev, A.K.Lutsak, V.N.Muzgin // Abstr. Intern. congr. on analyt. chem. Moscow. 1997. L-19.
34. Пупышев А.А. Изучение и прогнозирование термохимических процессов в современных спектральных источниках с использованием равновесной термодинамики // Тез. докл. 6 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока-2000». Новосибирск, 2000. С.15-16.
35. Pupyshev A. Thermodynamic simulation of the thermochemical processes for ICP-OES and ICP-MS // Abstr. 2003 Europ. winter. conf. on plasma spectrochemistry. Garmisch-Partenkirchen (Germany).12-17 Jan. 2003. P.138.
36. Pupyshev A.A. Thermodynamic simulation of the thermochemical processes for ICP-OES and ICP-MS // ICP Inf. Newslett. 2003. V.28, № 10. P.801.
37. Пупышев А.А. Термодинамическое моделирование ионизационных влияний в индуктивно связанной плазме / А.А.Пупышев, А.К.Луцак // ЖАХ. 1998. Т.53, № 11. С.1141-1153.
38. Пупышев А.А. Термодинамическое моделирование термохимических процессов в индуктивно связанной плазме / А.А. Пупышев, А.К. Луцак, В.Н. Музгин // ЖАХ. 1998. Т. 53, № 7. С. 713-724.
39. Pupyshev A.A. Thermochemical processes and ion transport in inductively coupled plasma mass spectrometry: theoretical description and experimental confirmation. Invited lecture / A.A.Pupyshev, V.N.Muzgin, A.K.Lutsak // JAAS. 1999. V.14. P.1485-1492.
40. Pupyshev A.A. Formation of ions and their transport for ICP-MS: a theoretical description and an experimental confirmation / A.A.Pupyshev, A.K.Lutsak // Proceed. 14 seminar on atomic spectrochem. High-Tatras-Podbanska. 1998. P.330-333.
41. Pupyshev A.A. Thermochemical processes and ion transport in ICP-MS: theoretical description and experimental confirmation / A.A.Pupyshev, V.N.Muzgin // Winter 99. Abstr. Europ. winter. conf. on plasma spectrochem. Pau (France). 1999. P.54-55.

42. Пупышев А.А. Ионнообразование в плазме индуктивно-связанного разряда: моделирование и эксперимент / А.А. Пупышев, В.Н. Музгин, А.Л. Луцак // Аналитика и контроль. 1999. № 1. С.2-14.
43. Пупышев А.А. Возможности термодинамического моделирования термохимических процессов в плазме индуктивно-связанного разряда / А.А.Пупышев, А.К.Луцак // Аналитика и контроль. 2000. Т.4, №4. С.304-315.
44. Пупышев А.А. Расширение возможностей термодинамического моделирования термохимических процессов в плазме индуктивно связанного разряда / А.А.Пупышев, А.К.Луцак // ЖАХ. 2002. Т.57, № 8. С.803-812.
45. Пупышев А.А. Образование двухзарядных атомных ионов в плазме индуктивно-связанного разряда / А.А.Пупышев, Е.В.Семенова // Аналитика и контроль. 2000. Т.4. № 2. С.120-140.
46. Пупышев А.А. Образование двухзарядных ионов в плазме индуктивно-связанного разряда / А.А.Пупышев, Е.В.Семенова // Тез. докл. 6 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока-2000». Новосибирск, 2000. С.298-299.
47. Pupyshv A.A. The formation of double charged ions in plasma of inductively coupled discharge / A.A.Pupyshv, E.V.Semenova // Abstr. Europ. winter. conf. on plasma spectrochem. Hafiell (Norway). 2001. P.178.
48. Пупышев А.А. // Образование двухзарядных атомных ионов в плазме индуктивно связанного разряда // ЖАХ. 2001. Т.56, №1. С.6-11.
49. Pupyshv A.A. Formation of doubly charged atomic ions in the inductively coupled plasma / A.A. Pupyshv, E.V. Semenova // Spectrochim. Acta. Part B. 2001. V. 56. P. 2397-2418.
50. Семенова Е.В. Установление закономерностей образования двухзарядных ионов элементов в плазме индуктивно связанного разряда методом термодинамического моделирования / Е.В.Семенова, А.А.Пупышев // Научн. тр. 2 отчетн. конф. молод. ученых ГОУ УГТУ-УПИ. Екатеринбург. 2002. Т.1. С.303-304.
51. Пупышев А.А. Изучение образования оксидных и гидроксидных ионов в плазме индуктивно-связанного разряда / А.А.Пупышев, А.К.Луцак // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С.30-31.
52. Пупышев А.А. Образование оксидных ионов Th, U и Pu в плазме индуктивно связанного разряда / А.А.Пупышев, Е.В.Семенова // Пробл. спектроск. и спектрометрии. Екатеринбург. 2003. Вып. 15. С.83-90.
53. Семенова Е.В. Теоретическое изучение образования кислородсодержащих ионов U, Th и Pu в плазме индуктивно связанного разряда / Е.В.Семенова, А.А.Пупышев // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.154-155.
54. Луцак А.К. Экспериментальное изучение образования молекулярных ионов в плазме индуктивно связанного разряда / А.К.Луцак, А.А.Пупышев // Научн. тр. 1 отчетн. конф. молодых ученых ГОУ УГТУ-УПИ. Екатеринбург. 2001. Ч. 1. С. 336-337.
55. Пупышев А. А. Суммы по состояниям атомов, одно- и двукратно заряженных ионов редкоземельных элементов / А.А.Пупышев, Е.В.Семенова // Тез. докл. 6 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока-2000». Новосибирск. 2000. С. 300.
56. Пупышев А.А. Суммы по состояниям атомов, одно и двукратно заряженных ионов редкоземельных элементов / А.А.Пупышев, Е.В.Семенова // ЖПС. 2000. Т. 67, № 5. С. 671-673.
57. Пупышев А.А. Суммы по состояниям атомов, одно- и двукратно заряженных ионов РЗЭ / А.А.Пупышев, Е.В.Семенова // Пробл. спектроск. и спектром. Межвуз. сб. научн. тр. Екатеринбург. 2000. Вып.4. С.50-54.
58. Пупышев А.А. Суммы по состояниям двукратно заряженных атомных ионов 35 элементов / А.А.Пупышев, Е.В.Семенова // Пробл. спектроск. и спектрометрии. Межвуз. сб. научн. тр. Екатеринбург. 2002. Вып.10. С.17-20.
59. Луцак А.К. Изучение возможности применения метода термодинамического моделирования для полуколичественного градуирования в методе масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / А.К.Луцак, А.А.Пупышев // Тез. докл. 15 Уральск. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.102-103.
60. Pupyshv A.A. The improvement of accuracy of the semiquantitative analysis by ICP-MS / A.A.Pupyshv, A.K.Lutsak // Abstr. 2002 Winter conf. on plasma spectrochem. Scottsdale (USA). 2002. P.363-364.
61. Семенова Е.В. Теоретический способ определения коэффициентов относительной чувствительности элементов для метода ICP-MS / Е.В.Семенова, А.А.Пупышев // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.105-106.
62. Семенова Е.В. Определение коэффициента относительной чувствительности элементов методом термодинамического моделирования / Е.В.Семенова, А.А.Пупышев // Научн. тр. 1 отчетн. конф. молодых ученых ГОУ УГТУ-УПИ. Екатеринбург. 2001. Ч.1. С.365-366.
63. Pupyshv A.A. The relative sensitivity coefficients of elements for ICP-MS / A.A.Pupyshv, E.V.Semenova // Abstr. 2002 Winter conf. on plasma spectrochem. Scottsdale (USA). 2002. P.205-206.
64. Пупышев А.А. Влияние матрицы в масс-спектрометрии с использованием индуктивно связанной плазмы / А.А.Пупышев, Н.Л.Васильева, С.В.Голик // ЖПС. 1998. Т.65, №5. С.768-774.
65. Исхакова Г.Р. Исследование методом термодинамического моделирования матричных несектральных помех в методе ICP-MS / Г.Р.Исхакова, Д.А.Данилова // Пробл. теорет. и эксп. химии. Тез. докл. 13 Росс. студ. научн. конф. Екатеринбург. 2003. С.283-284.
66. Pupyshv A.A. The thermodynamic simulation of thermochemical processes in inductively coupled "cold" plasma mass-spectrometry / A.A.Pupyshv, A.K.Lutsak //

- Proceed. 14 seminar on atomic spectrochem. High-Tatras-Podbanska. 1998. P.325-329.
67. Журина Е.В. Сопоставление экспериментальной и теоретической чувствительности метода ICP-MS / Е.В.Журина, А.А.Пупышев // Пробл. теорет. и эксп. химии. Тез. докл. 13 Рос. студ. научн. конф. Екатеринбург. 2003. С.276-277.
68. Пупышев А.А. Использование отрицательных атомных ионов в методе масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / А.А.Пупышев, В.Т.Суриков // Пробл. спектроск. и спектрометрии. Екатеринбург. 2002. Вып. 11. С.54-68.
69. Pupyshev A. Thermodynamic simulation of applicability of negative ions in ICP-MS / A.Pupyshev, V.Surikov // Abstr. 2003 Europ. winter conf. on plasma spectrochemistry. Garmish-Partenkirchen (Germany). 12-17 Jan. 2003. P.145.
70. Pupyshev A.A. Thermodynamic simulation of applicability of negative ions in ICP-MS / A.A.Pupyshev, V.T.Surikov // ICP Inf. Newslett. 2003. V.28, № 10. P.804.
71. Pupyshev A.A. Application of negative ions in inductively coupled plasma-mass spectrometry / A.A.Pupyshev, V.T.Surikov // Spectrochim. Acta. Part B. 2004. V.59, №7. P.1021-1031.
72. Гудкова Е.П. Влияние различных модификаторов на эффективность поступления U, В и La в методе масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и электротермическим испарением / Е.П.Гудкова, Н.В.Каленникова, А.А.Пупышев // Пробл. теор. и эксп. химии. Тез. докл. 11 Всерос. студ. научн. конф. Екатеринбург. 2001. С.101.
73. МаксUTOва Ю.В. Гелиевая индуктивно связанная плазма: теоретическое рассмотрение / Ю.В.МаксUTOва, А.А.Пупышев // Пробл. теор. и эксп. химии. Тез. докл. 9 Всерос. студ. научн. конф. Екатеринбург. 1999. С.102.
74. Пупышев А.А. Теоретическое изучение термохимических процессов в гелиевой индуктивно-связанной плазме / А.А.Пупышев, Ю.В.МаксUTOва // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.27-28.
75. Pupyshev A.A. Investigation of thermochemical processes in He ICP // Abstr. 2000 Winter Conf. On. Plasma Spectrochemistry. Lauderdale (USA). 2000. P.296-297.
76. Pupyshev A.A. Investigation of thermochemical processes in He ICP // ICP Inf. Newslett. 2000. V.25.
77. Пупышев А.А. Экспериментальное изучение матричных ионизационных влияний в методе ICP-MS / А.А.Пупышев, Н.Л.Васильева, О.Е.Тимофеева // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С.162-163.
78. Пупышев А.А. Экспериментальное изучение матричных ионизационных влияний в методе масс-спектрометрии с "холодной" индуктивно-связанной плазмой / А.А.Пупышев, Н.Л.Васильева, С.В.Голик // Заводская лаборатория. 1999. Т. 65, № 8. С.12-15.
79. Поляков Е.В. Коллоидно-химическая экстракция микрокомпонентов из водной фазы // Радиохимия. 2000. Т.42, № 5. С.423-426.
80. Поляков Е.В. Исследование экстракционных равновесий с участием следовых гидроксидных коллоидов / Е.В.Поляков, Г.Н.Ильвес, В.Т.Суриков // Радиохимия. 2000. Т. 42, № 5. С.427-431.
81. Поляков Е.В. Поведение элементов-примесей при коллоидно-химической экстракции гидроксидных коллоидов / Е.В.Поляков, Г.Н.Ильвес, В.Т.Суриков // Радиохимия. 2000. Т. 42, № 5. С.431-435.
82. Polyakov E.V. Inorganic colloid extraction. Phenomena and perspectives / E.V.Polyakov, G.N.Ilves, V.T.Surikov // Ext. Abstr. 5 Intern. Conf. on Nucl. and Radiochemistry. Bern (Switzerland). 2000. P.556-558.
83. Поляков Е.В. Термодинамическое описание коллоидно-химической экстракции микроколичеств карбонатов Ca и Sr расплавом парафина / Е.В.Поляков, Г.Н.Ильвес, В.Т.Суриков и др. // Материалы Ур. конф. по радиохимии. Екатеринбург. 2001. С.19-20.
84. Поляков Е.В. Термодинамическое описание коллоидно-химической экстракции микроколичеств карбонатов Ca(II) и Sr(II) расплавом парафина / Е.В.Поляков, Г.Н.Ильвес, В.Т.Суриков и др. // Термодинамика и неорганические материалы. Семинар СО РАН-УрО РАН. Новосибирск. 2001. С.160-161.
85. Поляков Е.В. Концентрирование микроколичеств сульфатов и карбонатов из водной фазы методом коллоидно-химической экстракции / Е.В.Поляков, В.Т.Суриков, Н.Н.Емельянова и др. // Тез. докл. Научн. конф. по неорг. химии и радиохимии, посвящ. 100-летию со дня рожд. академика В.И. Спичина. М.: МГУ. 2002. С.107.
86. Поляков Е.В. Применение гуматных комплексов микроэлементов в процессе их коллоидно-химической экстракции из природной воды / Е.В.Поляков, В.Т.Суриков, Н.Н. Емельянова и др. // Тез. докл. 4 Всерос. конф. по радиохимии. Озерск. 2003. С. 264.
87. Поляков Е.В. Реакции следовых коллоидов в водных растворах / Е.В. Поляков, Г.Н. Ильвес, В.Т. Суриков и др. // Тез. докл. 17 Менделеевск. съезда по общ. и прикл. химии. Казань. 2003. Т. 2. С. 187.
88. Поляков Е.В. Коллоидно-химическая экстракция сульфата кальция и сорбционное поведение примесей в пресной воде / Е.В.Поляков, Н.Н.Емельянова, В.Т.Суриков и др. // Радиохимия. 2003. Т.45, № 1. С.45-48.
89. Поляков Е.В. Определение соотношения ионных и коллоидных форм микрокомпонентов в пресной воде методом коллоидно-химической экстракции / Е.В. Поляков, Г.Н. Ильвес, В.Т. Суриков // Радиохимия. 2003. Т. 45, № 5. С. 456-460.
90. Поляков Е.В. Реакции ионно-коллоидных форм микрокомпонентов и радионуклидов в водных растворах. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 279 С.
91. Polyakov E.V. The role of inorganic sulfates in the formation of physico-chemical state of radionuclides in technical lakes of the production association "Mayak" /

- E.V.Polyakov, G.N.Ilyes, V.T.Surikov et al. // Abstr. XIII Intern. Conf. Chemistry for protection of the environment. Hilo, Hawaii (USA). 2002. P. 61.
92. Штин А.П. Сорбционные свойства нанокристаллического гидроксида титана на углеродной подложке / А.П.Штин, Г.П.Швейкин, Е.В.Поляков и др. // Химия тв. тела и функц. материалы. Тез. докл. Всерос. конф. Екатеринбург. 2000. С.426-427.
93. Денисова Т.А. Синтез и свойства новых кристаллических гидроксидных фаз титана и циркония / Т.А.Денисова, Л.Г.Максимова, Е.В.Поляков и др. // Тез. докл. 17 Менделеевск. съезда по общ. и прикл. химии. Казань. 2003. Т. 1. С.273.
94. Поляков Е.В. Иерархия размеров и сорбционная селективность ультрадисперсных частиц гидратированного диоксида титана / Е.В.Поляков, Т.А.Денисова, И.Г.Григоров и др. // Тез. докл. Межд. конф. «Новейшие технологии в порошк. металлургии и керамике». Киев. 2003. С.281.
95. Суриков В.Т. Применение масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой для исследований синтеза ферроцианидов свинца и олова / В.Т.Суриков, Е.В. Поляков // Тез. докл. Всерос. конф. «Химический анализ веществ и матер». Москва. 2000. С.252-253.
96. Суриков В.Т. Определение примесей в гафнии методом ICP-MS // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С. 133-135.
97. Суриков В.Т. Применение ICP-MS для контроля чистоты циркония, его диоксида и ортосиликата / В.Т.Суриков, Н.И.Москаленко // Тез. докл. конф. «Соврем. методы анализа в контроле качества продукции пром. производства, экологии и токсикологии». Одесса. 2000. С.11-12.
98. Суриков В.Т. Определение примесей в титане и его соединениях методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / В.Т.Суриков, Р.Н.Плетнев // Матер. и тез. докл. 3 рег. научн. конф. «Пробл. теор. и эксп. аналит. химии». Пермь. 2004. С.193.
99. Суриков В.Т. Оптимизация условий измерения изотопного отношения лития в твердых электролитах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / В.Т. Суриков, Е.В. Поляков, В.П. Обросов и др. // Матер. 8 Междун. конф. «Фундамент. пробл. преобраз. энергии в литиевых электрохим. системах». Екатеринбург. 2004. С. 129-131.
100. Суриков В.Т. Оптимизация условий измерения изотопного отношения лития в твердых электролитах методом ICP-MS // Тез. докл. 7 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». Новосибирск. 2004. Т.2. С.80.
101. Суриков В.Т. Применение ICP-AES и ICP-MS для диагностики состава суперионного литиевого проводника / В.Т.Суриков, Е.В.Поляков, Н.И.Москаленко и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.141-143.
102. Суриков В.Т. Диагностика состава твердых электролитов типа LLTO методами ICP-AES и ICP-MS / В.Т.Суриков, Е.В.Поляков, Н.И.Москаленко и др. // Матер. 8 Междун. конф. «Фундамент. пробл. преобраз. энергии в литиевых электрохим. системах». Екатеринбург. 2004. С.126-128.
103. Суриков В.Т. Применение ICP-QMS для контроля чистоты и изотопного состава лития и его соединений. / В.Т.Суриков, Е.В.Поляков, В.П.Обросов и др. // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектроскопии. Заречный. 2001. С.107-108.
104. Богомолов М.Ю. Изотопный эффект ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$ в транспорте катионов Li^+ через Li_5SiN_3 / М.Ю.Богомолов, В.П.Обросов, Н.Н.Баталов и др. // Докл. АН. 2001. Т. 378, № 6. С.790-793.
105. Богомолов М.Ю. Зависимость ионной проводимости Li_6MoN_4 и Li_6WN_4 от изотопного состава литиевых носителей / М.Ю.Богомолов, С.В.Осинцев, В.П.Обросов и др. // Нов. неорг. матер. и хим. термодинамика. 2 семинар СО РАН-УрО РАН. Екатеринбург. 2002. С.28.
106. Богомолов М.Ю. Влияние изотопного состава литиевых носителей на транспортные свойства твердых электролитов / М.Ю.Богомолов, М.И.Пантюхина, В.П.Обросов и др. // Тез. докл. 17 Менделеевск. съезда по общ. и прикл. химии. Казань. 2003. Т.2. С.156.
107. Богомолов М.Ю. Влияние изотопного состава литиевых носителей на транспортные свойства твердых электролитов Li_6MoO_4 и Li_6WO_4 / М.Ю.Богомолов, С.В.Осинцев, В.П.Обросов и др. // Докл. АН. 2003. Т. 388, № 3. С. 354-357.
108. Богомолов М.Ю. Измерение чисел переноса изотопов лития в твердом электролите Li_3AlN_2 / М.Ю.Богомолов, В.П.Обросов, Н.Н.Баталов и др. // Электрохимия. 2004. Т. 40, № 6. С.764-767.
109. Сурин А.А. Исследование структуры и транспортных свойств твердых электролитов Li_2ZrO_3 и $\text{Li}_{3x}\text{La}_{2/3-x}\text{TiO}_3$ / А.А.Сурин, М.И.Пантюхина, В.П.Обросов и др. // Тез. докл. 18 совещ. по использ. рассеянн. нейтронов в исслед. конденс. состояния. Заречный. 2004. С.132.
110. Сурин А.А. Баланс скачков ${}^7\text{Li}$ в $\text{La}_{2/3-x}\text{Li}_{3x}\text{TiO}_3$: расчет и эксперимент ЯМР / А.А. Сурин, В.П. Обросов, А.П. Степанов и др. // Тез. докл. 13 Рос. конф. по физ. химии и электрохимии расплавл. и тверд. электролитов. Екатеринбург. 2004. Т. 2. С.102-103.
111. Обросов В.П. Изотопный состав литиевых носителей и ионная проводимость литиевых ТЭЛ / В.П. Обросов, А.А. Сурин, А.П. Степанов и др. // Тез. докл. 13 Рос. конф. по физ. химии и электрохимии расплавл. и твердых электролитов. Екатеринбург. 2004. Т. 2. С.131-132.
112. Сурин А.А. Изотопный состав носителей и проводимость ТЭЛ $\text{La}_{2/3-x}\text{Li}_{3x}\text{TiO}_3$ / А.А.Сурин, В.П.Обросов, В.Т.Суриков и др. // Матер. 8 междун. конф. «Фунд. пробл. преобр. энергии в литиевых электро-

хим. системах». Екатеринбург. 2004. С.146-148.

113. Богомолов М.Ю. Влияние изотопного состава литиевых носителей на транспортные свойства твердых электролитов / М.Ю.Богомолов, М.И.Пантюхина, А.А.Сурин и др. // Электрохимия. 2004. Т.40, № 10. С.1195-1201.

114. Batalov N.N. Research on degradation of lithium aluminate under MCFC operation conditions / N.N.Batalov, K.A.Alexandrov, Z.R.Kozlova et al. // Fuel Cells Science & Technology. 6-7 okt. 2004. Munich, Germany. München. 2004. Poster P3.05.

115. Суриков В.Т. Особенности определения химического состава α -FeB / В.Т.Суриков, И.А.Панкова, В.А.Баринов // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.139-141.

116. Суриков В.Т. Особенности аналитического контроля состава механосинтезированных сплавов Fe-B / В.Т.Суриков, Н.И.Москаленко, В.А.Баринов // Матер. и тез. докл. 3 рег. научн. конф. «Пробл. теор. и эксп. аналит. химии». Пермь. 2004. С.189-192.

117. Цурин В.А. α -FeB: структура, сверхтонкие взаимодействия, магнитные свойства / В.А.Цурин, Ю.Э.Турхан, В.А.Казанцев и др. // ФММ. 2003. Т.96, № 1. С.1-12.

118. Цурин В.А. Локальная магнитная структура Fe₂B / В.А.Цурин, В.А.Казанцев, Л.И.Юрченко и др. // ФММ. 2004. Т.98, № 3. С.32-42.

119. Цурин В.А. Fe₂₃B₆: сверхтонкие взаимодействия и магнитные свойства / В.А.Цурин, С.И.Новиков, В.А.Баринов и др. // Abstr. 9 Int. Conf. "Mössbauer spectrosc. and its appl." Ekaterinburg. 2004. P.33.

120. Цурин В.А. Локальная магнитная структура Fe₂B / В.А.Цурин, С.И.Новиков, В.А.Баринов и др. // Abstr. 9 Int. Conf. "Mössbauer spectrosc. and its appl." Ekaterinburg. 2004. P.36.

121. Tsurin V.A. Fe₂₃B₆: magnetic properties and hyperfine interactions / V.A.Tsurin, S.I.Novikov, V.A.Barinov et al. // Abstr. 8-th Intern. Conf. "Solid State Physics". Almaty (Kazakhstan). 2004. P.419-420.

122. Tsurin V.A. Local magnetic structure Fe₂B / V.A.Tsurin, S.I.Novikov, V.A.Barinov et al. // Abstr. 8-th Intern. Conf. "Solid State Physics". Almaty (Kazakhstan). 2004. P.426-427.

123. Мельчаков Ю.Л. Оценка миграционного потока "растительность-атмосфера" в ландшафтах Урала / Ю.Л.Мельчаков, В.Т.Суриков, Е.В.Поляков и др. // Урал в научных исследованиях на географо-биологическом факультете УрГПУ. Матер. научно-практ. конф. памяти Е.Л.Шувалова. Екатеринбург. 2001. С.57-58.

124. Мельчаков Ю.Л. Методические подходы к количественной характеристике движения масс элементов в системе "растительность-атмосфера" / Ю.Л.Мельчаков, В.Т.Суриков, Е.В.Поляков и др. // Урал в научных исследованиях на географо-биологическом факультете УрГПУ. Матер. научно-практ. конф. памяти Е.Л.Шувалова. Екатеринбург. 2001. С.58-61.

125. Мельчаков Ю.Л. Некоторые аспекты барьерного влияния Уральских гор / Ю.Л.Мельчаков, В.Т.Суриков, Е.В. Панкова и др. // Матер. рос.-германск. конф. «А. Гумбольдт и исслед. Урала». Екатеринбург. 2002. С.137-142.

126. Мельчаков Ю.Л. Влияние химизма горных пород на фитогенную атмосферную миграцию элементов / Ю.Л.Мельчаков, В.Т.Суриков, Е.В.Поляков // Матер. рос.-германск. конф. «А. Гумбольдт и исслед. Урала». Екатеринбург. 2002. С.143-150.

127. Мельчаков Ю.Л. Временная изменчивость фитогенной миграции элементов в южнотаежных ландшафтах Среднего Урала / Ю.Л.Мельчаков, В.Т.Суриков, Е.В.Поляков и др. // Матер. рос.-германск. конф. «А. Гумбольдт и исслед. Урала». Екатеринбург. 2002. С.150-155.

128. Мельчаков Ю.Л. Состав летучих выделений растений как показатель масштабности фитогенного атмосферного массопереноса / Ю.Л.Мельчаков, В.Т.Суриков // Матер. 4 Рос. школы «Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов атмосферы». Москва. 2003. С.310.

129. Квашнина А.Е. Количественная оценка атмосферной составляющей баланса вещества в горных среднетаежных ландшафтах / А.Е.Квашнина, К.А.Возьмитель, Ю.А.Мельчаков и др. // Тр. Гос. заповедн. «Денежкин камень». Екатеринбург: Академкнига. 2003. Вып. 2. С.94-101.

130. Добровольский В.В. Фитогенный атмосферный массообмен: количественная оценка потока «растительность-атмосфера» / В.В.Добровольский, Ю.Л.Мельчаков, В.П.Учватов и др. // Геохимия природных и техногенно измененных биогеосистем / Под. ред. Добровольского В.В. М.: Прометей. 2003. С.112-161.

131. Мельчаков Ю.Л. Исследование геохимических потоков в фоновых ландшафтах Северного Урала / Ю.Л.Мельчаков, В.П.Учватов, А.Е.Квашнина и др. // Геогр. и природ. ресурсы. 2004. № 4. С.74-78.

132. Ларионов Л.П. Танталовые рентгеноконтрастные вещества / Л.П.Ларионов, М.Г.Зуев, В.Т.Суриков // Перспект. методы томограф. диагност. Тр. межд. конф. Томск. 2003. С.39-41.

133. Суриков В.Т. Исследование фармакокинетики ортотанталата тантала методом ICP-MS / В.Т.Суриков, М.Г.Зуев, Л.П.Ларионов // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.118-120.

134. Суриков В.Т. Контроль чистоты синтетического гидроксипатита методом ICP-MS / В.Т.Суриков, Н.А.Сабирзянов, Е.В.Поляков и др. // Тез. докл. 15 Уральская конф. по спектр. Заречный. 2001. С.109-111.

135. Суриков В.Т. Результаты межлабораторного многоэлементного анализа техногенных образований г. Карабаш / В.Т.Суриков, Е.В.Поляков, В.Г.Бамбуров и др. // Тез. научно-техн. конф. «Экол. пробл. пром. регионов». Екатеринбург. 2000. С.193.

136. Поляков Е.В. Сравнительный анализ содержа-

- ния химических элементов в минеральной (воздух, снег, колодезная вода) и биологической (картофель, пробы волос) составляющих экосистемы города Карабаш / Е.В.Поляков, В.Т.Суриков, В.Г.Бамбуров и др. // Тез. докл. 9 Междунар. экол. симпоз. «Урал атомный, Урал промышленный» Екатеринбург. 2001. С.123-124.
137. Оценка приоритетов по предотвращению загрязнения окружающей среды Среднего Урала. Отчет по проекту МНТЦ № 500-98. ВНИИТФ-ИХТТ УрО РАН. Екатеринбург. 2001. Рук. Барышева Н.М., Поляков Е.В.
138. Разработка программы по развитию и реабилитации г.Карабаш за счет использования комплекса технологий по переработке техногенных ресурсов города. Отчет про проекту МНТЦ № 1872 (промежуточ.) / ВНИИТФ-ИХТТ УрО РАН. Рук. Барышева Н.М., Поляков Е.В. Екатеринбург. 2004.
139. Барышева Н.М. Вклад металлургических процессов в загрязнение минеральной и биологической компонентов экосистемы г. Карабаша / Н.М.Барышева, Н.В.Гармашева, Е.В.Поляков и др. // Новые неорганические материалы и химическая термодинамика. Второй семинар СО РАН-УрО РАН. Екатеринбург. 2002. С. 18.
140. Барышева Н.М. Проблемы реабилитации старопромышленных металлургических регионов / Н.М.Барышева, Е.В.Поляков, Б.Н.Смирнов и др. // Тез. конф. «Экол. пробл. пром. регионов». Екатеринбург. 2003. С.9-10.
141. Барышева Н.М. Опыт оценки экологических приоритетов на примере г. Карабаш, Челябинская обл. / Н.М.Барышева, Е.В.Поляков, В.Н.Удачин и др. // Тез. конф. «Экол. пробл. пром. регионов». Екатеринбург. 2003. С.21-22.
142. Поляков Е.В. Применение параметрической статистики для сравнительной оценки технологических предложений по переработке отходов старопромышленных металлургических регионов (пример г. Карабаш) / Е.В. Поляков, Н.М. Барышева, Б.Н. Смирнов и др. // Тез. конф. «Экол. пробл. пром. регионов». Екатеринбург. 2003. С. 380.
143. Barysheva N.M. Contamination and remediation of soil of the town Karabash (Ural, Russia) / N.M.Barysheva, E.V.Polyakov, V.N.Udachin // ConSoil 2003. Abstr. 8 Intern. FZK/TNO Conf. on contaminated soil. Gent (Belgium). 2003. P.204-205.
144. Barysheva N.M. Contamination and remediation of soil of the town Karabash (Ural, Russia) / N.M.Barysheva, E.V.Polyakov, V.N.Udachin // ConSoil 2003. Abstr. 8 Intern. FZK/TNO Conf. on contaminated soil. Gent (Belgium). 2003. P.3702-3706.
145. Barysheva N.M. Comparative multi-elemental analysis of mineral and biological components of the ecosystem "Karabash-city" co-existing with blister copper production plant / N.M.Barysheva, N.V.Garmasheva, E.V.Polyakov et al. // Abstr. XIII Intern. Conf. Chemistry for protection of the environment. Hilo, Hawaii (USA). 2002. P.11.
146. Barysheva N.M.Karabash: the zone of special concern / N.M.Barysheva, E.V.Polyakov, V.N.Udachin et al. // Abstr. XIII Intern. Conf. Chemistry for protection of the environment. Hilo, Hawaii (USA). 2002. P. 12-13.
147. Barysheva N.M. Experience in the environmental priorities assessment within large territories taken Chelyabinsk region for example / N.M.Barysheva, N.A.Bukova, A.P.Gavrilov et al. // Abstr. XIII Intern. Conf. Chemistry for protection of the environment. Hilo, Hawaii (USA). 2002. P.45-46.
148. Barysheva N. On remediation of old-time metallurgical regions taking the city of Karabash for example / N.Barysheva, E.Avrorn, E.Polyakov et al. // Ecol. and health threat associated with environmental contamination. Workshop. Kyiv. 2002. Report 7.
149. Polyakov E. Physico-chemical point of view on chemical contamination of mineral and biological components of the ecosystem / E.Polyakov, N.Barysheva, N.Garmasheva et al. // Ecol. and health threat associated with environmental contamination. Workshop. Kyiv. 2002. Report 28.
150. Пирогов Д.Е. Опыт использования ИСП масс-спектрометра ELAN 6000 для определения следовых количеств урана и его изотопного состава в природных водах и биологических объектах / Д.Е.Пирогов, В.М.Голик // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С.86-87.
151. Пирогов Д.В. Разработка методики определения примесей в почве и растительных объектах с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой «ELAN 6000» / Д.В.Пирогов, Т.А.Кисель // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.96-97.
152. Пирогов Д.В. Разработка методики определения примесей в почве и растительных объектах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) / Д.В.Пирогов, В.М.Голик, Т.А.Кисель // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.104-105.
153. Пирогов Д.В. Исследование элементного состава воды и донных отложений озера Таватуй методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) / Д.В.Пирогов, В.М.Голик, Т.А.Кисель // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.104.
154. Пирогов Д.В. Исследование элементного состава и донных отложений озера Таватуй методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) / Д.В.Пирогов, В.М.Голик, Т.А.Кисель // Аналитика и контроль. 2001. Т. 5, № 2. С.186-194.
155. Сапрыгин А.В. Определение металлов в природных и очищенных сточных водах с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой "ELAN 6000" / А.В.Сапрыгин, В.М.Голик, Т.А.Кисель и др. // Аналитика и контроль. 1998. № 2(4).

С.29-33.

156. Джаваев Б.Г. Определение общего содержания урана и его изотопного состава в пробах атмосферного воздуха и выбросах вентсистем / Б.Г.Джаваев, С.В.Голик // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.91-92.
157. Джаваев Б.Г. Определение общего содержания урана и его изотопного состава в пробах атмосферного воздуха и выбросах вентсистем с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой / Б.Г.Джаваев, С.В.Голик // Аналитика и контроль. 2000. Т. 4, № 5. С.470-473.
158. Голик В.М. Использование ионообменного концентрирования радионуклидов и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для анализа объектов окружающей среды / В.М.Голик, С.В.Голик, Б.Г.Джаваев и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.117-118.
159. Сермягин Б.А. Химический анализ изотопно-обогащенных веществ, объектов окружающей среды и других производственных объектов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / Б.А.Сермягин, А.И.Скориков, Л.Ю.Сычева // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.156-158.
160. Суриков В.Т. Определение бора в речных водах методом ICP-MS / В.Т.Суриков, Е.В.Поляков, Н.И.Москаленко // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.97-99.
161. Купряжкина Е.В. Определение йода в пищевых продуктах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / Е.В.Купряжкина, А.А.Пупышев, Т.Г.Ушакова // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С. 93-94.
162. Суриков В.Т. Определение подвижного калия в почвах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / В.Т.Суриков, О.А.Рыжик // Тез. докл. 6 Всерос. конф. «Экоаналитика-2000». Краснодар. 2000. С.360-361.
163. Суриков В.Т. Экспресс-анализ монацита методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / В.Т.Суриков, Е.В.Поляков // Матер. и тез. докл. 3 рег. научн. конф. «Пробл. теор. и эксп. аналит. химии». Пермь. 2004. С.194-196.
164. Соловьев Г.С. Центральная заводская лаборатория (ЦЗЛ) Уральского электрохимического комбината. Контроль качества урановой продукции и экоаналитический контроль / Г.С.Соловьев, А.В.Сапрыгин, В.М.Голик и др. // Аналитика и контроль. 1999. № 2. С.70-72.
165. Голик В.М. Об установлении гравиметрического фактора в методике определения гексафторида урана в гексафториде урана / В.М.Голик, Н.Г.Герасимович, И.С. Израилевич и др. // Аналитика и контроль. 2002. Т.6, № 3. С.318-322.
166. Сапрыгин А.В. Исследование влияния мешающих факторов при определении примесей в урановых материалах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / А.В.Сапрыгин, В.М.Голик, Т.А.Кисель и др. // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7, № 4. С.340-347.
167. Голик В.М. Определение примесей в урановых материалах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с предварительным отделением урана / В.М.Голик, Т.А.Кисель, С.А.Трепачев // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.137-138.
168. Трепачев С.А. Определение К, Са, Fe в урановых материалах методом ИСП-МС / С.А. Трепачев, Т.А. Кисель // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.112-113.
169. Голик В.М. Методика масс-спектрометрического с индуктивно связанной плазмой определения технеция-99 в закиси-окиси урана и гексафториде урана / В.М.Голик, С.Л.Иванов, Ю.М.Кежутин и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.122-123.
170. Голик В.М. Нептуний-237. Методика масс-спектрометрического с индуктивно связанной плазмой определения в гексафториде урана / В.М.Голик, С.Л.Иванов, С.А.Трепачев и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.127-128.
171. Голик В.М. Прямое определение технеция-99 в урановых материалах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / В.М.Голик, С.Л.Иванов, А.В.Сапрыгин и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.150-151.
172. Трепачев С.А. Определение Th, Eu, Dy, Gd и Sm в урановых материалах методом масс-спектрометрии с ИСП / С.А.Трепачев, Т.А.Кисель, В.М.Голик // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.131-133.
173. Трепачев С.А. Определение бора в гексафториде урана с использованием масс-спектрометра «ELAN 6000» / С.А.Трепачев, В.М.Голик, Т.А.Кисель // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.99-100.
174. Березин А.Д. Определение бора в графитовых материалах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / А.Д.Березин, Н.Г.Герасимович, С.А.Трепачев и др. // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.96-97.
175. Лисиенко Д.Г. Анализ графита – матричного материала государственных стандартных образцов состава / Д.Г.Лисиенко, М.А.Домбровская // Всерос. конф. «Актуальные проблемы аналитической химии». М. 2002. Т. 1. С.10-11.
176. Лисиенко Д.Г. Синтез и аттестация государственных стандартных образцов закиси-окиси урана / Д.Г. Лисиенко, М.А.Домбровская, С.А.Трепачев // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.198-199.
177. Трепачев С.А. Применение метода масс-спек-

- рометрии с индуктивно связанной плазмой для анализа основы при изготовлении стандартных образцов состава закиси-оксида урана / С.А.Трепачев, Н.Г.Герасимович, В.М.Голик // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.148-149.
178. Лисиенко Д.Г. Стандартные образцы состава растворов ионов редкоземельных элементов, тория и урана / Д.Г.Лисиенко, М.А.Домбровская, С.С.Светлакова // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.237-239.
179. Лисиенко Д.Г. Аттестация стандартных образцов состава растворов методом компаративных измерений / Д.Г.Лисиенко, М.А.Домбровская, М.Д.Лисиенко и др. // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектр. Заречный. 2001. С.227-228.
180. Лисиенко Д.Г. К вопросу об условиях хранения стандартных образцов состава растворов ионов металлов / Д.Г.Лисиенко, М.А.Домбровская, М.Д.Лисиенко и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.228-230.
181. Сапрыгин А.В. Аналитические характеристики ИСП-МС-МК при определении изотопного состава урана, полученные с помощью стандартных образцов повышенной точности / А.В.Сапрыгин, Б.Г.Джаваев, А.А.Макаров // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7, № 1. С.68-73.
182. Джаваев Б.Г. Применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для определения изотопного состава урана в рудах / Б.Г. Джаваев, В.А. Калашников, А.А. Макаров и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С. 144.
183. Сапрыгин А.В. Масс-спектрометрическое определение изотопа уран-234 в рудах разных месторождений / А.В.Сапрыгин, В.М.Голик, Б.Г.Джаваев и др. // Масс-спектр. в хим. физике, биофизике и экологии. 2 Междун. семинар-школа: Матер. М.2004. С.148.
184. Березин А.Д. Определение содержания изотопов урана-238 и урана-235 в вакуумных маслах с помощью квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой ELAN 6000 / А.Д.Березин, Т.А.Кисель // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С. 88.
185. Сермягин Б.А. Опыт работы масс-спектрометрической лаборатории при контроле качества продукции электромагнитного производства стабильных изотопов / Б.А.Сермягин, А.И.Скориков, Л.Н.Черепанов // Аналитика и контроль. 2002. Т. 6, № 3. С.285-288.
186. Пупышев А.А. Химический анализ изотопно-обогащенных веществ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / А.А.Пупышев, Б.А.Сермягин, А.И.Скориков и др. // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7, № 3. С.284-289.
187. Сермягин Б.А. Изотопный анализ изотопно-обогащенных веществ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / Б.А.Сермягин, А.И.Скориков, Л.Ю.Сычева и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.115-116.
188. Бородина Е.С. Масс-спектрометрический контроль изотопного и химического состава продукции электромагнитного производства обогащенных стабильных изотопов / Е.С.Бородина, Б.А.Сермягин, А.И.Скориков и др. // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.120-122.
189. Сермягин Б.А. Метрология масс-спектрометрического анализа изотопного состава изотопно-обогащенных веществ / Б.А.Сермягин, А.И.Скориков, Е.С.Бородина // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.123-124.
190. Дмитриев В.А. Применение масс-спектрометра ELAN-6000 с лазерным пробоотборником М330 для определения концентраций 20-ти элементов-примесей в платине / В.А.Дмитриев, О.Ю.Афанасьев, И.Б.Курбатова и др. // Тез. докл. 13 Ур. конф по спектр. Заречный. 1997. С.03-104.
191. Курбатова И.Б. Определение примесей в платине методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / И.Б. Курбатова, Т.Н. Табатчикова, А.К. Луцк // Аналитика и контроль. 1999. № 3. С. 32-35.
192. Курбатова И.Б. Определение золота в платиновых сплавах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / И.Б. Курбатова, Т.Н. Табатчикова, А.К. Луцк // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектроск. Заречный. 1999. С. 104.
193. Курбатова И.Б. Выбор внутреннего стандарта при анализе примесей в платиновых сплавах методом ICP-MS на приборе ELAN 6000 / И.Б. Курбатова, Т.Н. Табатчикова, А.К. Луцк // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С. 105-106.
194. Дмитриев В.А. Определение примесей в пробах золота и серебра методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой без использования стандартных образцов на приборе ELAN 6000 / В.А.Дмитриев, И.Б.Курбатова, Т.Н.Табатчикова и др. // Тез. докл. 14 Ур. конф. по спектр. Тез. докл. Заречный. 1999. С.103-104.
195. Избаш О.А. Определение примесей в чистом золоте методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / О.А.Избаш, В.Г.Баклыков // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7, № 3. С.256-261.
196. Избаш О.А. Определение примесей в чистом золоте методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / О.А.Избаш, В.Г.Баклыков, К.В.Иванов // Лабораторный журнал. 2003. № 1(3).
197. Сергиенко Н.Д. Межлабораторная аттестация государственных стандартных образцов состава платины / Н.Д.Сергиенко, Н.А.Березиков // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С.62-63.
198. Сергиенко Н.Д. Изготовление и аттестация государственных стандартных образцов состава палладия / Н.Д.Сергиенко, Н.А.Березиков // Тез. докл.

- 14 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1999. С.209.
199. Курбатова И.Б. Создание стандартных образцов состава сплавов благородных металлов методом плавания // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С. 135-136.
200. Табатчикова Т.Н. Возможность прямого определения следовых количеств золота и серебра в объектах сложного состава ICP-MS на ELAN 6000 / Т.Н. Табатчикова, Л.Д. Горбатова // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С.18-19.
201. Суриков В.Т. Определение чистоты металлического алюминия методом ICP-MS // Тезисы VI Региональная научно-практическая конференция "Алюминий Урала"-2001. Краснотурьинск. 2001. С.135.
202. Суриков В.Т. Определение чистоты оксида алюминия методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Тез. 9-й научно-практ. конф. «Алюминий Урала-2004». Краснотурьинск. 2004. С.171-172.
203. Суриков В.Т. Применение ICP-QMS для контроля чистоты ванадия и его соединений // Ванадий. Химия, технология и применение. 8 Всерос. конф. Чусовой. 2000. С.94.
204. Суриков В.Т. Определение примесей в меди методом ICP-QMS // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.135-136.
205. Суриков В.Т. Определение чистоты металлического галлия / В.Т. Суриков, Е.В. Поляков, Г.М. Рубинштейн // Тез. докл. 15 Ур. конф. по спектроск. Заречный. 2001. С.108-109.
206. Суриков В.Т. Определение чистоты кадмия методом ICP-QMS // Тез. докл. 16 Ур. конф. по спектр. Екатеринбург. 2003. С.138-139.
207. Суриков В.Т. Простой и быстрый способ определения состава и содержания примесных элементов в оксиде самария с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / В.Т. Суриков, Е.В. Поляков, В.Г. Шевченко и др. // Оксиды. Физ.-хим. свойства. Сб. тр. 5 Всерос. научн. конф. Екатеринбург. 2000. С.444-446.
208. Емельянова Н.Н. Особенности определения примесей в самарии и его соединениях методом ICP-MS / Н.Н. Емельянова, В.Т. Суриков // Совр. пробл. теор. и эксп. химии. 6 Всерос. конф. мол. уч. 2003. Саратов. С.152.
209. Емельянова Н.Н. Определение примесей в тербии и его соединениях методом ICP-QMS / Н.Н. Емельянова, В.Т. Суриков // Совр. пробл. теор. и эксп. химии. 6 Всерос. конф. мол. уч. 2003. Саратов. С.151.
210. Суриков В.Т. Диагностика таллия методом ICP-MS // Тез. докл. 7 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». Новосибирск. 2004. Т. 2. С.79.
211. Зарянская Ю.В. Химический анализ ванадиевых соединений методом масс-спектрометрии с индукционно-связанной плазмой / Ю.В. Зарянская, В.Н. Музгин // Тез. докл. 13 Ур. конф. по спектр. Заречный. 1997. С.161-162.
212. Суриков В.Т. Определение содержания компонентов двойных сплавов Al-Sc, Al-Y, Al-Ce, Al-Sm методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой / В.Т. Суриков, В.Г. Шевченко, В.В. Торокин / // Тез. докл. Всерос. конф. «Химия тверд. тела и функц. матер.». Екатеринбург. 2000. С.356-357.
213. Суриков В.Т. Особенности аналитического контроля стеллитов методами ICP-AES и ICP-MS с жидкостным вводом образцов. / В.Т. Суриков, Л.Л. Соколова, Е.В. Поляков и др. // Тез. докл. 15 Уральская конф. по спектр. Заречный. 2001. С.111-112.
214. Суриков В.Т. Аналитический контроль плавов $ZrCl_4$ - $KAlCl_4$ и $ZrCl_4$ - $NaCl$ - KCl методами ICP-AES и ICP-MS / В.Т. Суриков, Н.И. Москаленко, А.Б. Салюлев / // Тез. докл. 6 конф. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока-2000». Новосибирск. 2000. С.308-309.
215. Суриков В.Т. Ослабление химической стойкости алюминия в неорганических кислотах воздействием галлия // Тез. докл. Всерос. конф. «Химия тверд. тела и функц. матер.». Екатеринбург. 2004. С.390.
216. Николаенко И.В. Химическая устойчивость микроволновой керамики в неорганических кислотах / И.В. Николаенко, А.П. Штин, Г.П. Швейкин // Термодинамика и неорг. матер. Семинар СО РАН-УрО РАН: Тез. докл. Новосибирск. 2001. С.48.

* * * * *

INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS-SPECTROMETRY IN THE URAL
V.T.Surikov, V.N.Muzgin

This review considers ICP-MS instrumentation, application of ICP-MS spectrometers for science and practical purposes, and ICP-MS user's activity in the Ural region of the Russia in 1996-2004.
